บทที่ 8

การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปประยุกต์ใช้กับปัญหาต่าง ๆ

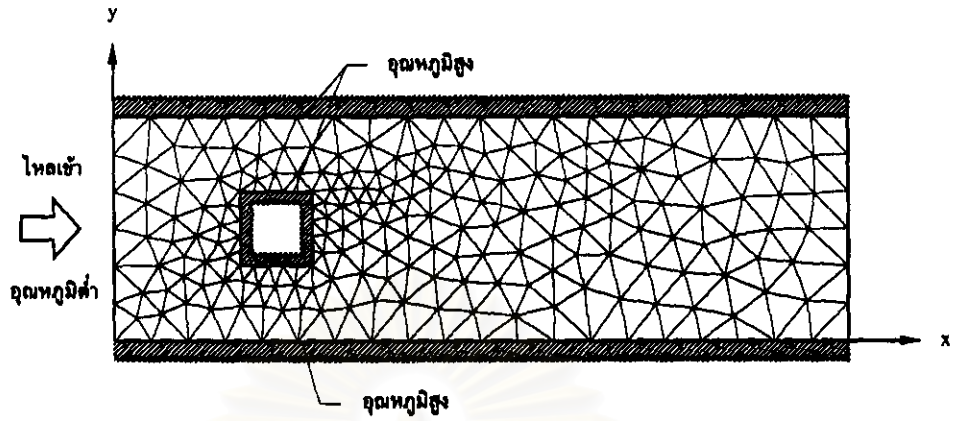
หลังจากที่ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นดังที่ได้นำเสนอในบทที่ 7 แล้ว ในบทนี้จึงนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับปัญหาต่าง ๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาที่มีรูปร่างและเงื่อนไขขอบเขตที่ซับซ้อน ซึ่งทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจในปรากฏการณ์การไหลได้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำไปดัดแปลงใช้กับปัญหาการไหลในทางปฏิบัติได้ ตัวอย่างปัญหาการไหลที่ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นได้แก่ (1) การไหลในช่องทางการไหลที่มีทรงกระบอกสี่เหลี่ยมอุณหภูมิสูงยึดติดอยู่ภายใน (Flow in a channel with a built-in high temperature rectangular cylinder) (2) การพาความร้อนแบบอิสระระหว่างทรงกระบอกสองอันในช่องปิดที่มีหน้าตัดรูปวงกลม (Free convection between two cylinders in a circular enclosure) (3) การจำลองการหมุนเวียนของอากาศในอาคารรูปโดม (Simulation of air circulation in dome) และ (4) การไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Flow in heat exchangers)

8.1 การไหลในช่องทางการไหลที่มีทรงกระบอกสี่เหลี่ยมอุณหภูมิสูงยึดติดอยู่ภายใน

ตัวอย่างแรกที่ถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นคือ ปัญหาการไหลในช่องทางการไหลที่มีทรงกระบอกสี่เหลี่ยมอุณหภูมิสูงยึดติดอยู่ภายใน ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาใด ๆก็ตามที่มีเงื่อนไขขอบเขตหลาย ๆแบบ

รูปแบบของปัญหาการไหลในช่องทางการไหลที่มีทรงกระบอกสี่เหลี่ยมอุณหภูมิสูงยึดติดอยู่ภายในดังแสดงในรูปที่ 8.1 (สร้างจากโปรแกรม NASTRAN) ประกอบด้วย 392 เอลิเมนต์ 856 จุดต่อของความเร็วและอุณหภูมิ และ 232 จุดต่อของความดัน ผนังด้านบนและผนังด้านล่างของช่องทางการไหลมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของไหลมีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Pr = 0.5) ไหลเข้าสู่ช่องทางการไหลทางด้านซ้าย โดยมีลักษณะการกระจายของความเร็วอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันพาราโบลิค (Parabolic function) และมีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์เท่ากับ 100

(คำนวณจากความกว้างของช่องทางการไหล) และผิวของทรงกระบอกสี่เหลี่ยมที่ยึดติดอยู่ภายในช่องทางการไหลมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกับผนังของช่องทางการไหล



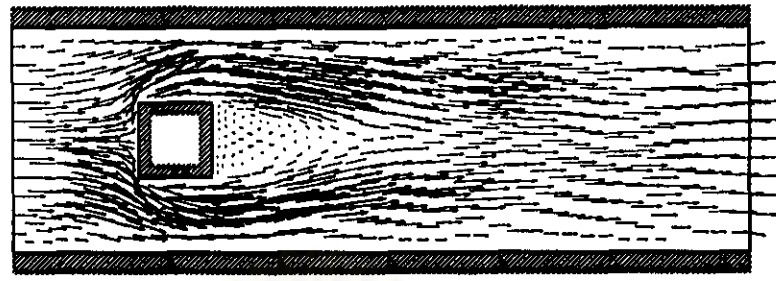
รูปที่ 8.1 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ของปัญหาการไหลในช่องทางการไหลที่มีทรงกระบอกสี่เหลี่ยมอุณหภูมิสูงยึดติดอยู่ภายใน

รูปที่ 8.2a-c แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น โดยรูปที่ 8.2a แสดงรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าของไหลไหลหมุนวนที่ด้านหลังของทรงกระบอกเป็นจำนวน 2 วงด้วยกัน รูปที่ 8.2b แสดงลักษณะการกระจายของอุณหภูมิ ซึ่งมีค่าสูงในบริเวณใกล้ผนังและทรงกระบอกสี่เหลี่ยมแล้วค่อย ๆลดลงในบริเวณที่ห่างออกไป รูปที่ 8.2c แสดงลักษณะการกระจายของความดัน ซึ่งมีค่ามากที่สุดที่ผิวด้านหน้าของทรงกระบอก เนื่องจากเป็นบริเวณที่ของไหลไหลเข้ามาปะทะ ความดันจะลดลงค่อนข้างมากในขณะที่ของไหลไหลผ่านทรงกระบอก เนื่องจากของไหลไหลเร็วขึ้น โดยที่ความผิดปกติของการกระจายของความดันที่ด้านหลังของทรงกระบอกเกิดขึ้นเนื่องจากการไหลหมุนวนของของไหล (การเปลี่ยนแปลงของความดันเทียบกับระยะทางในแนวแกน x มีค่าเป็นบวกอยู่ช่วงหนึ่ง แล้วเปลี่ยนเป็นค่าลบในบริเวณใกล้ทางออก เพื่อให้สมการการอนุรักษ์โมเมนตัมมีความสมดุล) ผลลัพธ์ดังกล่าวนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับผลลัพธ์ของ Ramaswamy และ Jue [25] ซึ่งทำการวิเคราะห์ปัญหาในลักษณะนี้เช่นกัน

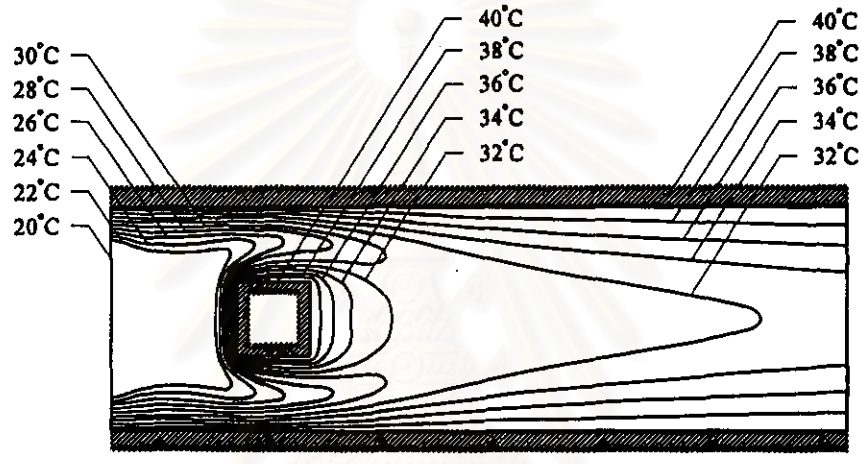
เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพของไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้มากขึ้น จึงทำการวิเคราะห์ปัญหานี้อีกโดยใช้เงื่อนไขขอบเขตที่แตกต่างกันออกไปอีก 2 แบบ ได้แก่ เงื่อนไขขอบเขตที่ผนังด้านบนและด้านล่างของช่องทางการไหลถูกหุ้มด้วยฉนวนความร้อน และเงื่อนไขขอบเขตที่ผนังด้านบนถูกหุ้มด้วยฉนวนความร้อนแต่ผนังด้านล่างมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

รูปแบบการไหลและลักษณะการกระจายของความดันของการไหลใน 2 กรณีหลังนี้คล้ายคลึงกับการไหลในกรณีแรกเป็นอย่างมาก แต่ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิแตกต่างไปจากเดิมมากดังแสดงในรูปที่ 8.3 และ 8.4 ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของไฟไนต์เอลิ

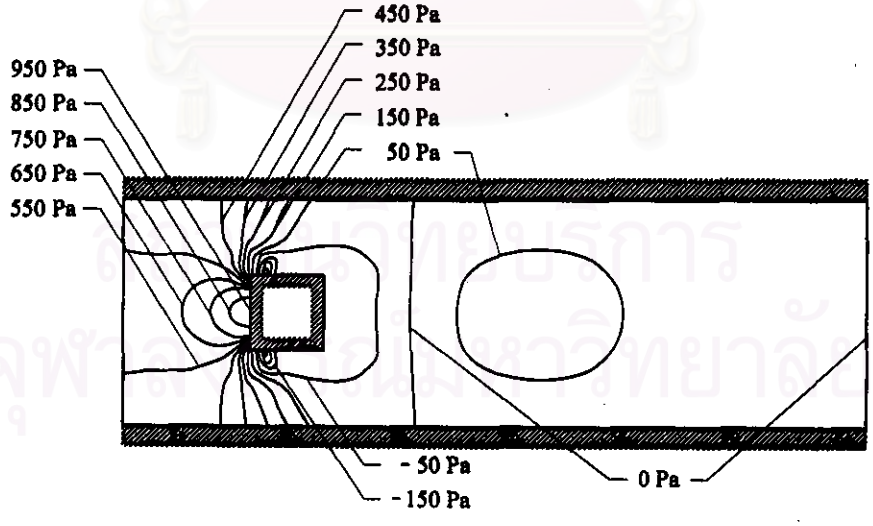
เมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาที่มีเงื่อนไขขอบเขตหลาย ๆแบบซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ



(a)

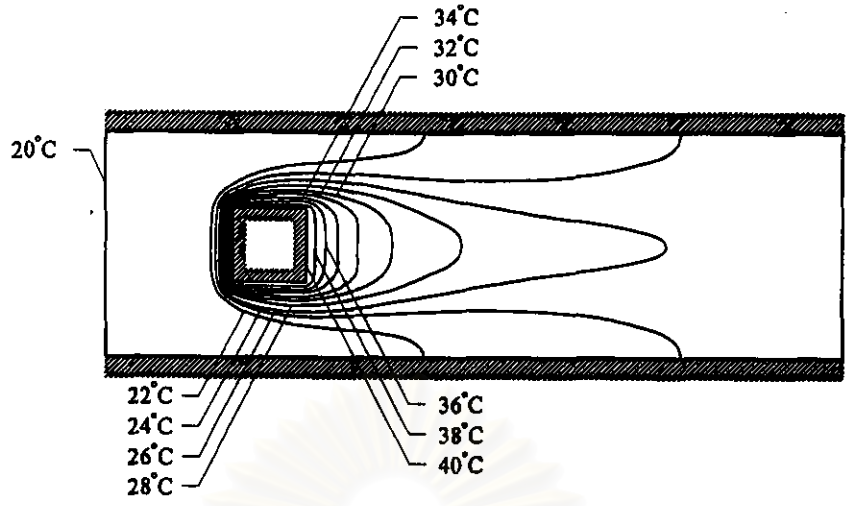


(b)

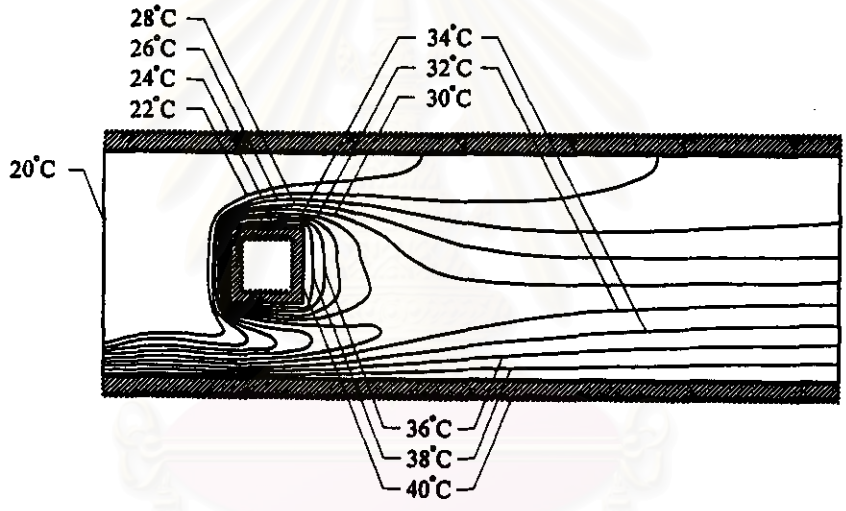


(c)

รูปที่ 8.2 การไหลในช่องทางการไหลที่มีทรงกระบอกสี่เหลี่ยมอุณหภูมิสูงยึดติดอยู่ภายใน (a) รูปแบบการไหล (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิ (c) ลักษณะการกระจายของความดัน



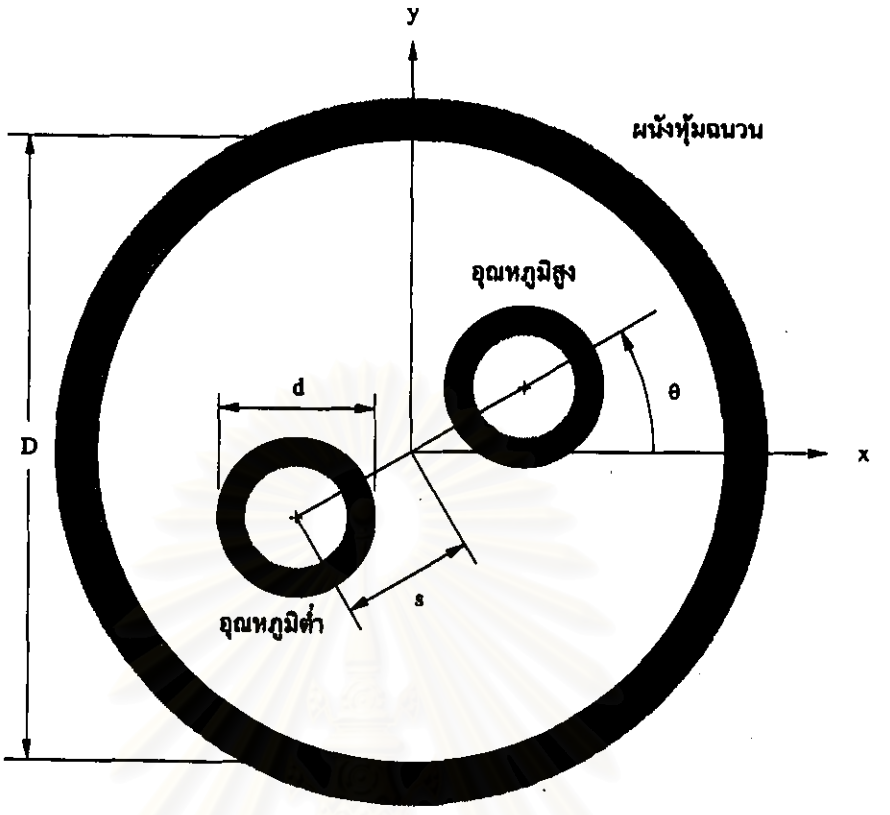
รูปที่ 8.3 ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิสำหรับกรณีที่เงื่อนไขขอบเขตที่ผนังด้านบนและด้านล่างถูกหุ้มด้วยฉนวนความร้อน



รูปที่ 8.4 ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิสำหรับกรณีที่เงื่อนไขขอบเขตที่ผนังด้านบนถูกหุ้มด้วยฉนวนความร้อนแต่ผนังด้านล่างมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

8.2 การพาความร้อนแบบอิสระระหว่างทรงกระบอกสองอันในช่องปิดที่มีหน้าตัดรูปวงกลม

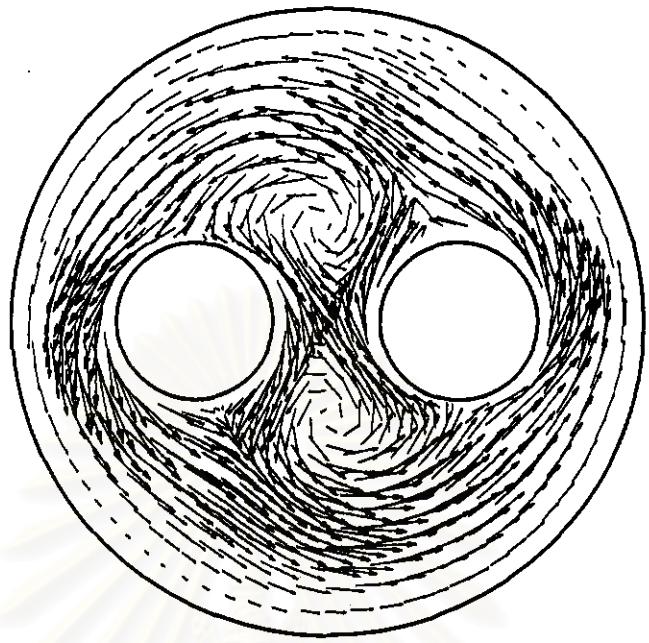
ตัวอย่างที่สองที่ถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นคือ ปัญหาการพาความร้อนแบบอิสระระหว่างทรงกระบอกสองอันในช่องปิดที่มีหน้าตัดรูปวงกลม ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถของไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อน



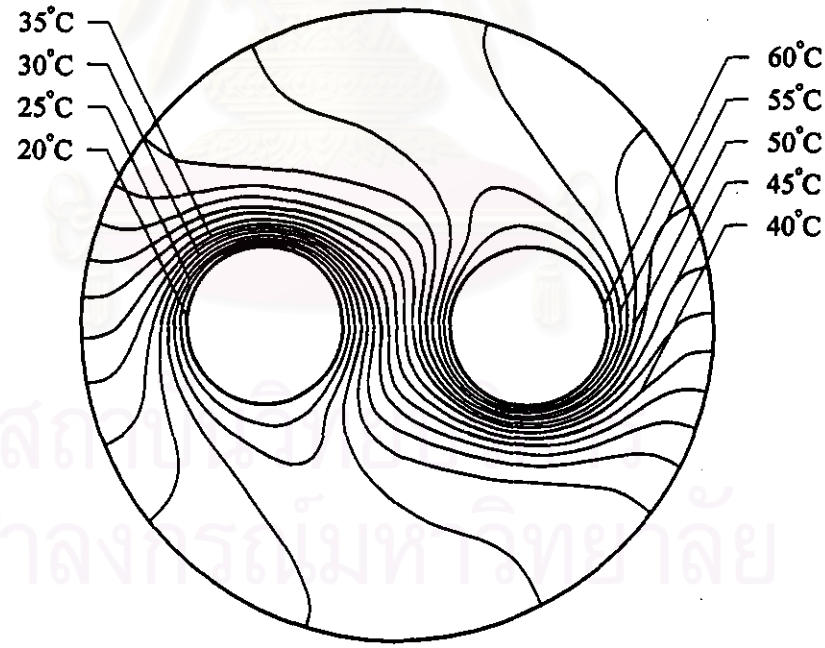
รูปที่ 8.5 รูปแบบของปัญหาการพาความร้อนแบบอิสระระหว่างทรงกระบอกสองอันในช่องปิดที่มีหน้าตัดรูปวงกลม

รูปแบบของปัญหาการพาความร้อนแบบอิสระระหว่างทรงกระบอกสองอันในช่องปิดที่มีหน้าตัดรูปวงกลมดังแสดงในรูปที่ 8.5 ประกอบด้วยช่องปิดที่มีหน้าตัดรูปวงกลมที่หุ้มด้วยฉนวนความร้อน และทรงกระบอกอีก 2 อันที่มีขนาดเท่ากันถูกบรรจุอยู่ในช่องปิดดังกล่าว โดยที่ทรงกระบอกทั้งสองนั้นมีอุณหภูมิต่างกันและระนาบของทรงกระบอกทำมุม θ กับแกน x

การวิเคราะห์การไหลของปัญหานี้จะกระทำในกรณีที่พรันด์เทิลนัมเบอร์มีค่า 0.71 โดยมีเรย์เลห์นัมเบอร์เท่ากับ 2000 (คำนวณจากความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอก) ระนาบของทรงกระบอกทำมุม 0, 30, 60 และ 90 องศากับแกน x อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกกับเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องปิดเท่ากับ 0.25 และอัตราส่วน s/d เท่ากับ 0.83333 จำนวนเอลิเมนต์และจุดต่อของทั้ง 4 กรณีถูกแสดงไว้ในตารางที่ 8.1 สาเหตุที่ต้องใช้จำนวนจุดต่อของความเร็วและอุณหภูมิมากกว่า 850 จุดต่อในทุกกรณีก็เพราะว่า ต้องการจุดต่อที่มากเพียงพอที่จะแสดงรูปแบบการไหลที่ซับซ้อนได้ ส่วนการที่จำนวนจุดต่อในแต่ละกรณีไม่เท่ากันนั้นก็เนื่องจาก ต้องสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ใหม่ในทุกกรณี เพื่อหลีกเลี่ยงการหมุนเวคเตอร์ของความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง (การหมุนเวคเตอร์ดังกล่าวจะทำให้มีแรงวัตถุทั้งในแนวแกน x และ y ซึ่งไม่สอดคล้องกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น รวมทั้งยังจะทำให้ใช้หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์มากขึ้นอีกด้วย)

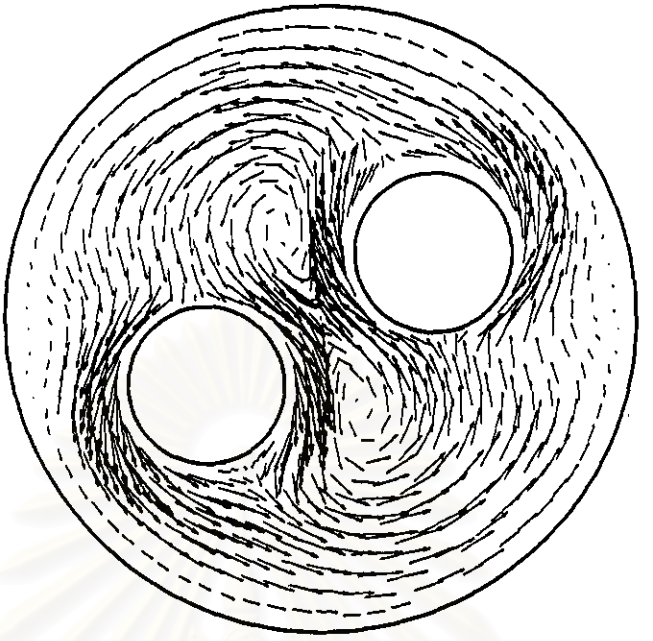


(a)

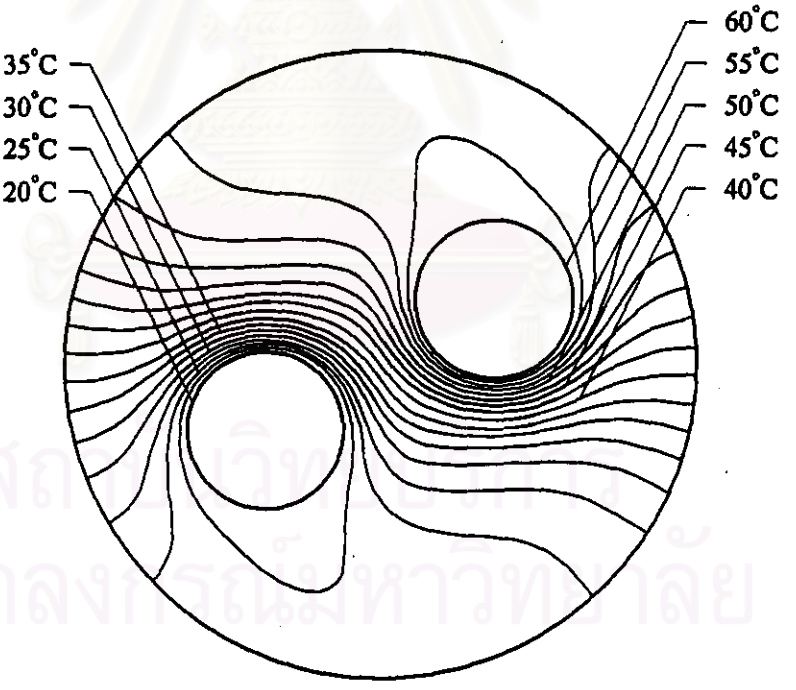


(b)

รูปที่ 8.6 การพาความร้อนแบบอิสระระหว่างทรงกระบอกสองอันในช่องปิดที่มีหน้าตัดรูปวงกลมในกรณีที่ระนาบของทรงกระบอกทำมุม 0 องศากับแกน x
(a) รูปแบบการไหล (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิ



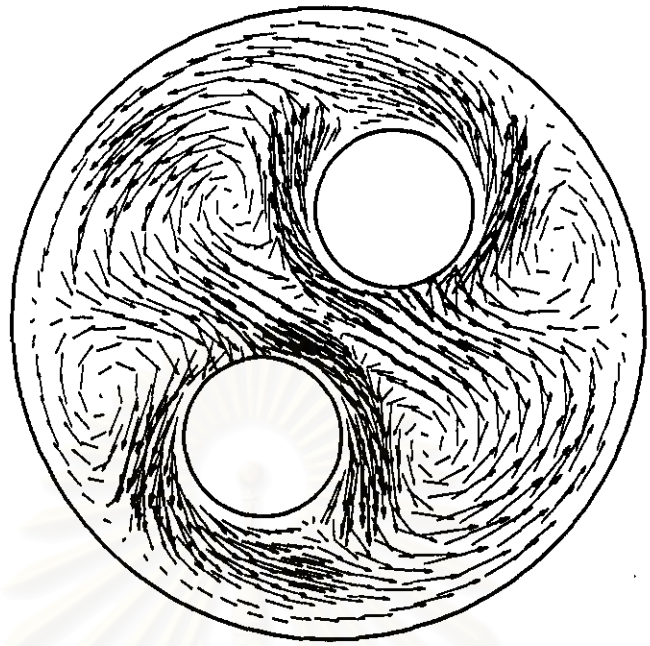
(a)



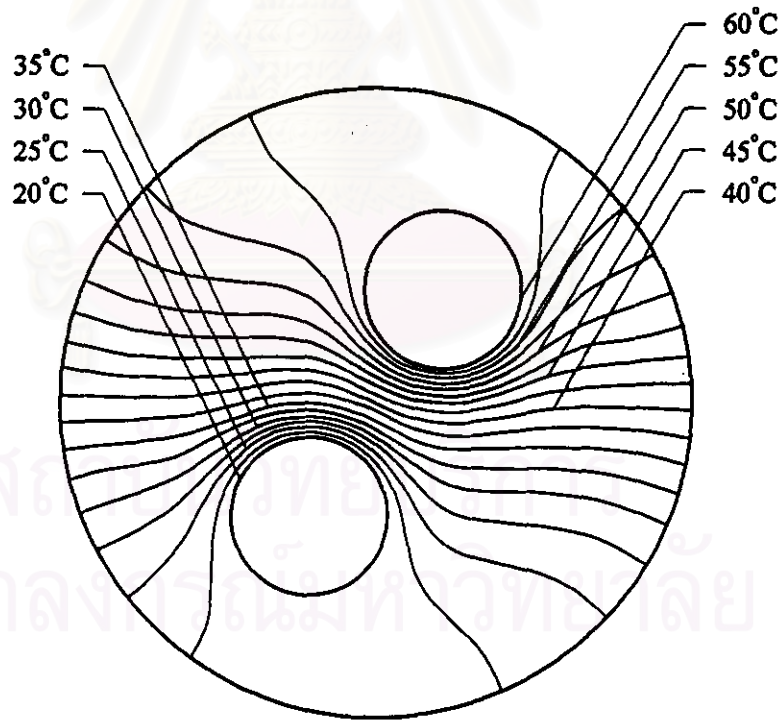
(b)

รูปที่ 8.7 การพาความร้อนแบบอิสระระหว่างทรงกระบอกสองอันในช่องปิดที่มีหน้าตัดรูปวงกลมในกรณีที่ระนาบของทรงกระบอกทำมุม 30 องศากับแกน x
(a) รูปแบบการไหล (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

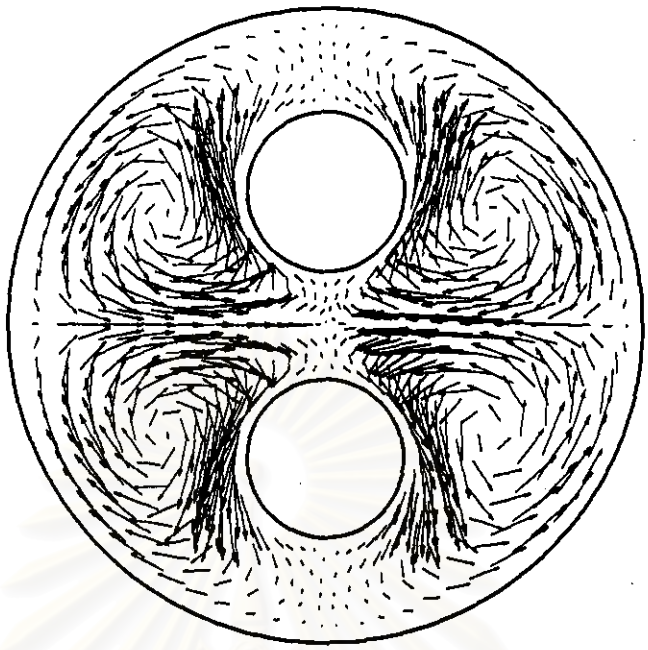


(a)

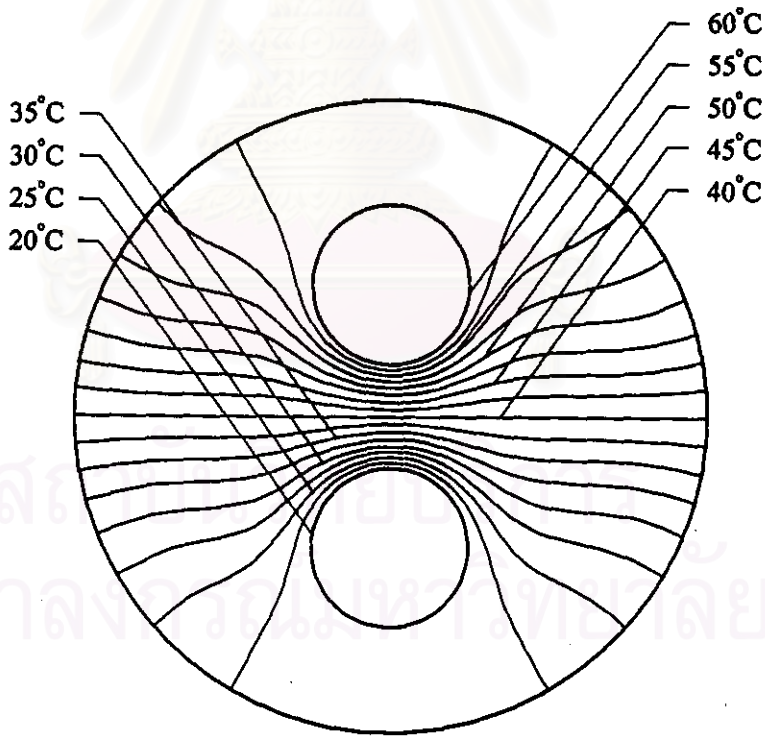


(b)

รูปที่ 8.8 การพาความร้อนแบบอิสระระหว่างทรงกระบอกสองอันในช่องปิดที่มีหน้าตัดรูปวงกลมในกรณีที่ระนาบของทรงกระบอกทำมุม 60 องศากับแกน x
(a) รูปแบบการไหล (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิ



(a)



(b)

รูปที่ 8.9 การพาความร้อนแบบอิสระระหว่างทรงกระบอกสองอันในช่องปิดที่มีหน้าตัดรูปวงกลมในกรณีที่ระนาบของทรงกระบอกทำมุม 90 องศากับแกน x
(a) รูปแบบการไหล (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิ

ตารางที่ 8.1 จำนวนเอลิเมนต์และจุดต่อของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ของปัญหาการพาความร้อนแบบอิสระระหว่างทรงกระบอกสองอันในช่องปิดที่มีหน้าตัดรูปวงกลม

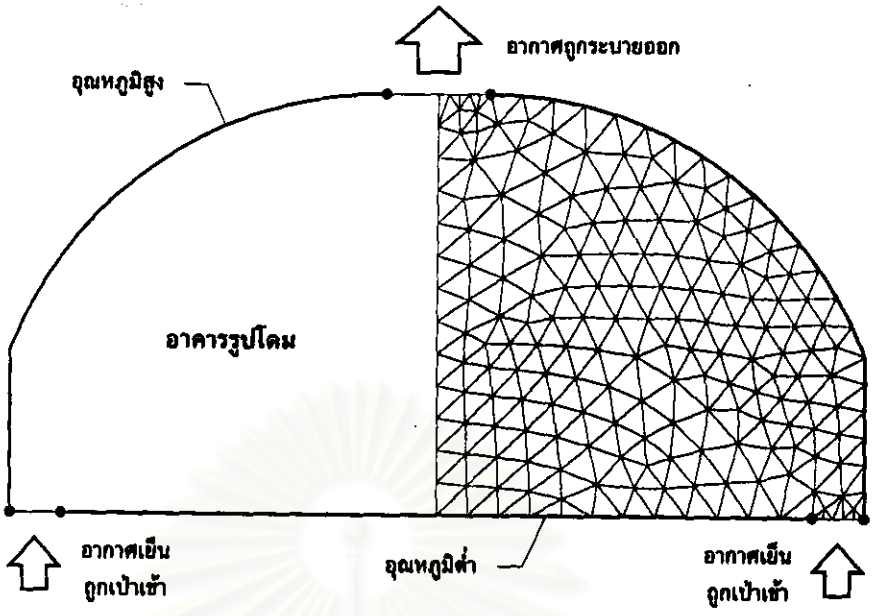
θ	Number of elements	Velocity and temperature nodes	Pressure nodes
0°	396	871	237
30°	386	851	232
60°	416	911	247
90°	412	903	245

รูปที่ 8.6 ถึง 8.9 แสดงรูปแบบการไหลและลักษณะการกระจายของอุณหภูมิในกรณีที่ระนาบของทรงกระบอกทำมุม 0, 30, 60 และ 90 องศากับแกน x ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ารูปแบบการไหลจะมีลักษณะซับซ้อนมากขึ้น เมื่อระนาบของทรงกระบอกทำมุมกับแกน x มากขึ้น กล่าวคือ ในสองกรณีแรกของไหลภายในช่องปิดเกิดการไหลหมุนวนเพียง 2 บริเวณเท่ากัน แต่มีตำแหน่งต่างกันเล็กน้อย ส่วนในสองกรณีหลังซึ่งรูปร่างของปัญหาเปลี่ยนไปเล็กน้อย ของไหลภายในช่องปิดเกิดการไหลหมุนวนถึง 4 บริเวณด้วยกัน และยังมีตำแหน่งแตกต่างกันอีกด้วย รูปแบบการไหลจะมีความซับซ้อนมากขึ้นไปอีกถ้าเรย์เลห์นัมเบอร์มีค่ามากขึ้น [26] ซึ่งจำเป็นต้องใช้จำนวนเอลิเมนต์ในการวิเคราะห์การไหลมากขึ้นตามไปด้วย ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อน ซึ่งจะทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจในปรากฏการณ์การไหลได้ดียิ่งขึ้น

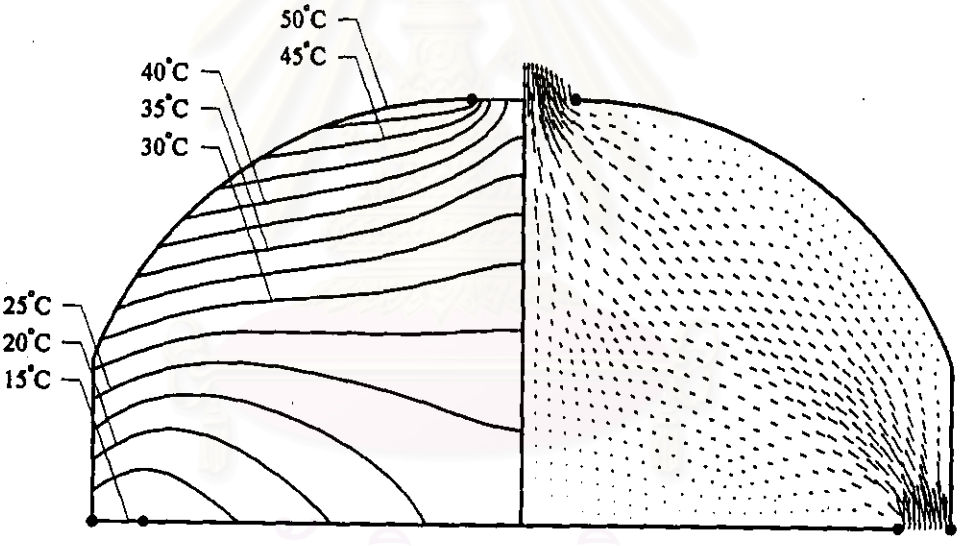
8.3 การจำลองการหมุนเวียนของอากาศในอาคารรูปโดม

ตัวอย่างถัดมาที่ถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นคือ การจำลองการหมุนเวียนของอากาศในอาคารรูปโดม เพื่อเป็นตัวอย่างในการนำไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในทางปฏิบัติ

รูปแบบของปัญหาดังแสดงในรูปที่ 8.10 (สร้างจากโปรแกรม NASTRAN) ประกอบด้วย 342 เอลิเมนต์ 741 จุดต่อของความเร็วและอุณหภูมิ และ 200 จุดต่อของความดัน โดยที่อากาศเย็นถูกเป่าเข้าจากมุมล่างของอาคารและมีทางระบายอากาศอยู่ที่ส่วนบนสุดของหลังคา พื้นของอาคารมีอุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิของผนังกับหลังคาของอาคารค่อย ๆเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามความสูงของอาคาร



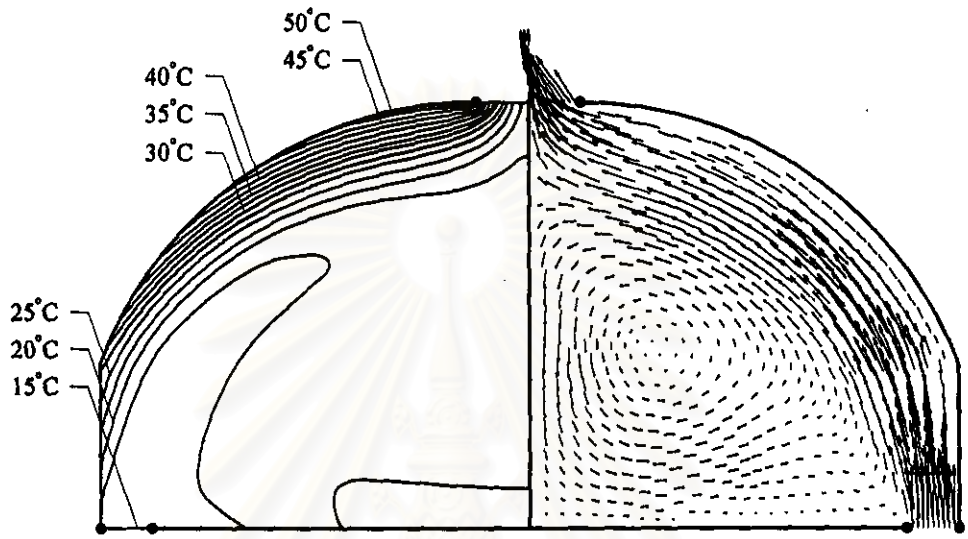
รูปที่ 8.10 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ของปัญหาการหมุนเวียนของอากาศในอาคารรูปโดม



รูปที่ 8.11 ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในกรณีที่อากาศเย็นถูกเป่าเข้าด้วยความเร็วต่ำ

รูปที่ 8.11 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นในกรณีที่อากาศเย็นถูกเป่าเข้าด้วยความเร็วต่ำ จะเห็นได้ว่าความร้อนจากหลังคาถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้มากและส่งผลให้อากาศภายในอาคารมีอุณหภูมิต่ำเฉพาะในบริเวณที่ไม่สูงจากพื้นมากนัก เนื่องจากอากาศถ่ายเทออกจากตัวอาคารได้ช้า ดังนั้นเพื่อให้อากาศส่วนใหญ่ภายในอาคารมีอุณหภูมิต่ำลงจำเป็นจะต้องเป่าอากาศเย็นเข้าสู่อาคารด้วยความเร็วที่มากขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลในกรณีหลังนี้ (มีความเร็วเป็น 10 เท่าของกรณีแรก) ถูกแสดงไว้ใน

รูปที่ 8.12 จะเห็นได้ว่าอากาศส่วนใหญ่ภายในอาคารมีอุณหภูมิต่ำลงดังที่คาดไว้ แต่สิ่งที่เกิดขึ้นตามมาก็คือ อากาศภายในตัวอาคารเกิดการไหลหมุนวนขึ้นด้วย ตัวอย่างนี้เป็นการแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการนำไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในทางปฏิบัติ ซึ่งช่วยให้ทำนายปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนได้ล่วงหน้า และสามารถนำไปใช้ปรับปรุงการออกแบบให้ดีขึ้นได้โดยง่าย

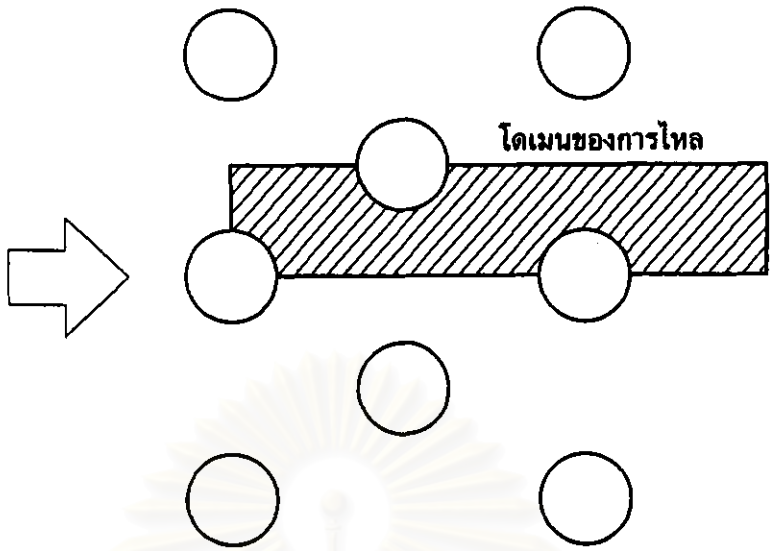


รูปที่ 8.12 ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในกรณีที่อากาศเย็นถูกเป่าเข้าด้วยความเร็วสูง

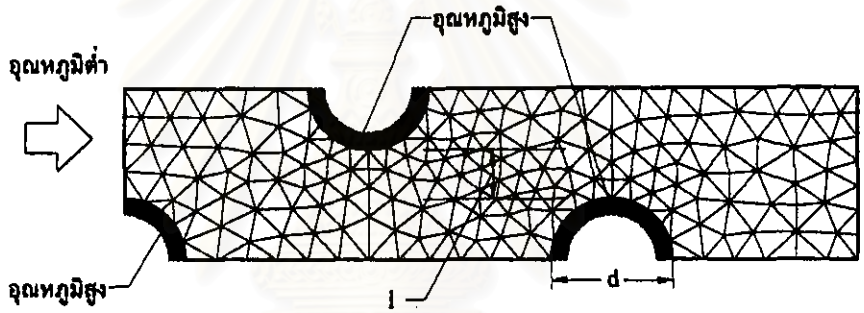
8.4 การไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ตัวอย่างสุดท้ายของการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นไปวิเคราะห์การไหลก็คือการนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการนำไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปใช้ประโยชน์ในทางปฏิบัติ

รูปแบบของปัญหาดังแสดงในรูปที่ 8.13 ประกอบด้วยท่อวงกลมอุณหภูมิสูงที่มีการจัดเรียงแบบสลับจำนวน 3 แถว แต่ละแถวมีระยะห่างกัน 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และมีของไหลอุณหภูมิต่ำไหลผ่านกลุ่มท่อนี้จากซ้ายไปขวา เนื่องจากปัญหานี้มีรูปร่างที่ซ้ำกัน ดังนั้นการวิเคราะห์การไหลจะกระทำเฉพาะในส่วนที่นำมาแสดงไว้ในรูปที่ 8.14 เท่านั้น โดยสมมุติว่าเงื่อนไขของการไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ต้องการ ได้แก่ (1) ความเร็วสูงสุดที่ทางเข้าเท่ากับ 2.5 เมตรต่อวินาที (2) อุณหภูมิของท่อต่างจากอุณหภูมิของของไหลที่ทางเข้า 40 องศาเซลเซียส และ (3) อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่ระยะ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนับจากท่อแถวที่ 3 เพิ่มขึ้นอย่างน้อย 20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 8.13 รูปแบบของปัญหาการไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

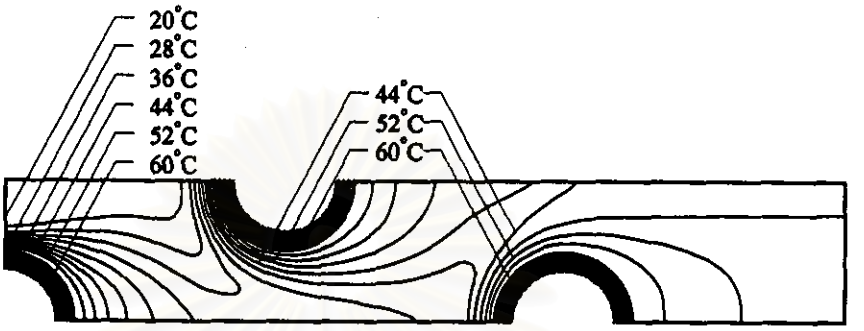


รูปที่ 8.14 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ตารางที่ 8.2 จำนวนเอลิเมนต์และจุดต่อของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ของปัญหาการไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

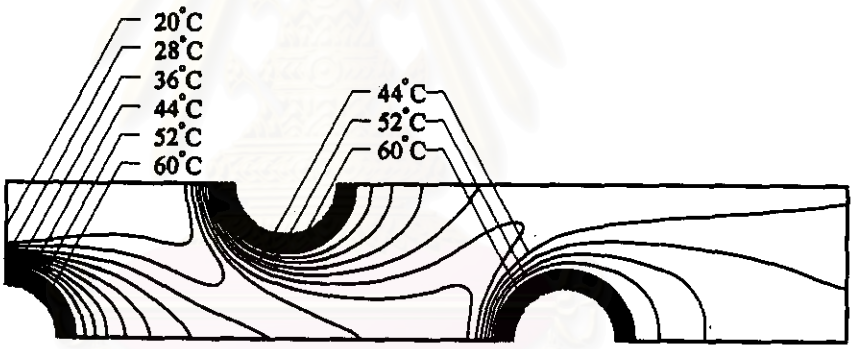
l/d	Number of elements	Velocity and temperature nodes	Pressure nodes
0.0	281	646	183
0.1	307	698	196
0.2	280	637	179
0.3	284	643	180
0.4	316	707	196
0.5	340	755	208

เพื่อให้ทราบอัตราส่วน l/d ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดโดยใช้จำนวนท่อน้อยที่สุด จึงทำการวิเคราะห์การไหลตั้งแต่กรณีที่อัตราส่วน l/d มีค่าเท่ากับ 0.0 และหาอุณหภูมิเฉลี่ยที่ตำแหน่งที่ต้องการ แล้วดำเนินการในลักษณะเดียวกันโดยเพิ่มอัตราส่วน l/d ทีละ 0.1 จนกระทั่งอัตราส่วน l/d มีค่าเท่ากับ 0.5 ทั้งหมดเป็นจำนวน 6 กรณี ซึ่งมีจำนวนเอลิเมนต์และจุดต่อดังแสดงในตารางที่ 8.2



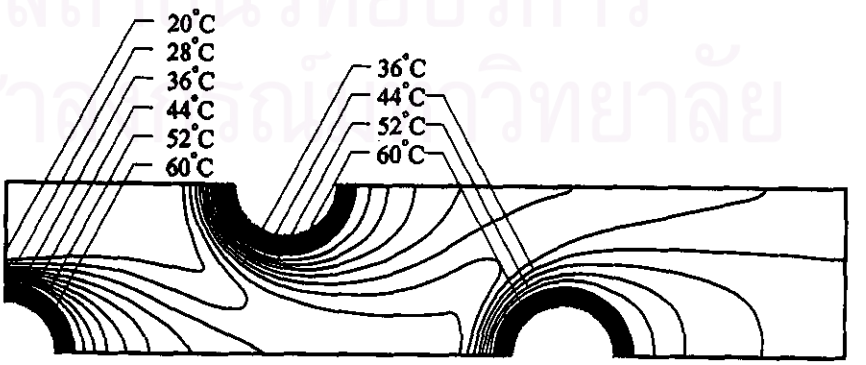
อุณหภูมิเฉลี่ย = 49.20 องศาเซลเซียส

(a)



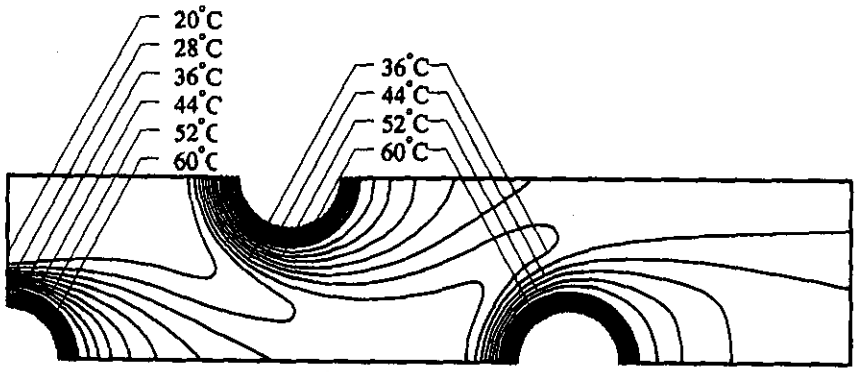
อุณหภูมิเฉลี่ย = 46.59 องศาเซลเซียส

(b)



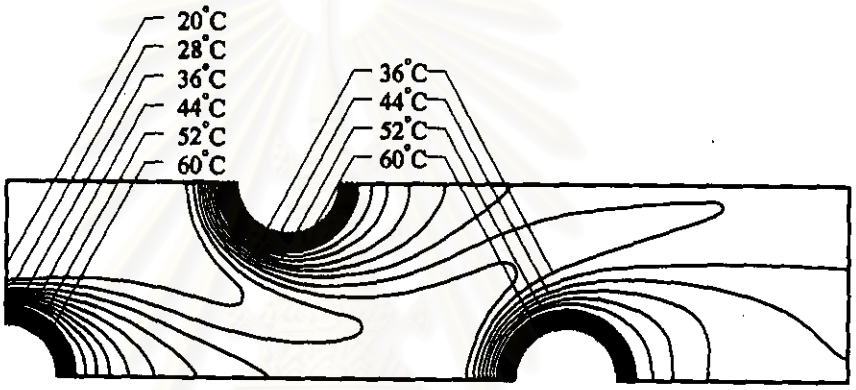
อุณหภูมิเฉลี่ย = 44.23 องศาเซลเซียส

(c)



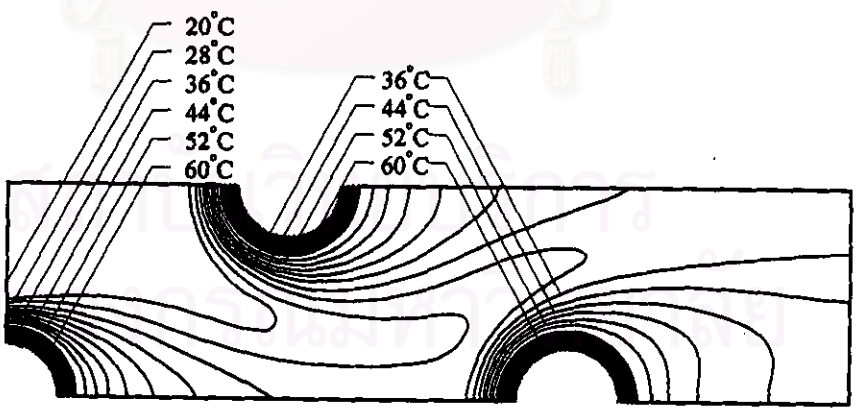
อุณหภูมิเฉลี่ย = 42.33 องศาเซลเซียส

(d)



อุณหภูมิเฉลี่ย = 40.59 องศาเซลเซียส

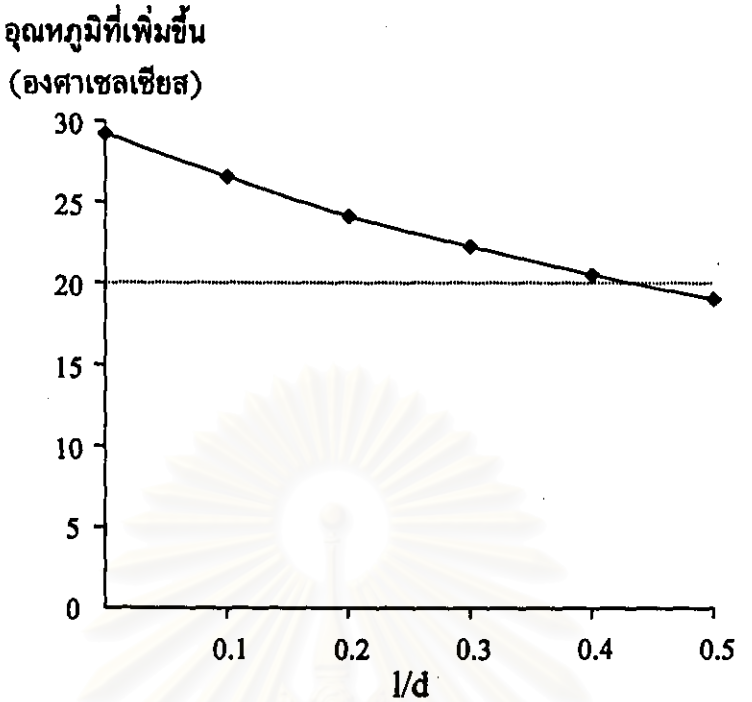
(e)



อุณหภูมิเฉลี่ย = 39.08 องศาเซลเซียส

(f)

รูปที่ 8.15 ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิของปัญหาการไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
(a) อัตราส่วน l/d = 0.0 (b) อัตราส่วน l/d = 0.1 (c) อัตราส่วน l/d = 0.2
(d) อัตราส่วน l/d = 0.3 (e) อัตราส่วน l/d = 0.4 (f) อัตราส่วน l/d = 0.5



รูปที่ 8.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นกับอัตราส่วน l/d

รูปที่ 8.15 a-f แสดงลักษณะการกระจายของอุณหภูมิของการไหลในแต่ละกรณี จากการคำนวณค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของของไหลที่ระยะ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนับจากท่อแถวที่ 3 พบว่า เมื่ออัตราส่วน l/d มีค่ามากขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลจะค่อย ๆลดลงดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นกับอัตราส่วน l/d ในรูปที่ 8.16 จากกราฟดังกล่าวทำให้ทราบว่าที่อัตราส่วน l/d เท่ากับ 0.4 จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดโดยใช้จำนวนท่อน้อยที่สุด ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นถึงการนำไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบในทางปฏิบัติ เนื่องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้สามารถทำนายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ล่วงหน้า ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลา และจำนวนครั้งที่จะต้องทำการทดลองลงได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย